

*М. Е. Зязев, Ж. О. Абдуллаев, А. Ю. Коняев*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

zyacho72@gmail.com

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК В ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ МАШИНАХ СО ВСТРЕЧНО БЕГУЩИМИ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

*В статье рассмотрены проблемы и перспективы применения линейных индукционных машин с индуктором, создающим встречно бегущие магнитные поля. Особое внимание уделено режиму позиционирования заготовок.*

Ключевые слова: *линейные индукционные машины; встречно бегущие магнитные поля; позиционирование; результаты исследований.*

*M. E. Zyazev, Zh. O. Abdullaev, A. Yu. Konyaev*

Ural Federal University, Ekaterinburg

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF BILLETS POSITIONING IN LINEAR INDUCTION MACHINES WITH OPPOSITE DIRECTION TRAVELLING MAGNETICS FIELDS

*The article deals with problems and prospects of linear induction machines with the primary, establishing the opposite direction travelling magnetic field. Particular attention is paid to the mode of the billets positioning.*

Keywords: *linear induction machines; opposite direction travelling magnetic fields; positioning; research results.*

Одной из тенденций развития специальных электрических машин является расширение применения линейных индукционных машин (ЛИМ) технологического назначения, в которых бегущее магнитное поле оказывает непосредственное технологическое воздействие на обрабатываемые материалы и заготовки.

Возможности формирования характеристик таких машин ограничены тем, что размеры и свойства вторичных элементов (ВЭ), роль которых исполняют сами обрабатываемые материалы и изделия, заданы и не являются предметом выбора. В то же время рассматриваемые ЛИМ допускают применение технических решений неприемлемых для традиционных электрических машин. Одним из таких решений является использование трехфазных линейных индукторов, создающих встречно бегущие магнитные поля [1]. Некоторые особенности таких машин рассматриваются в данном докладе.

Пример реализации ЛИМ, создающей встречно бегущие магнитные поля, показан на рис. 1. В данном случае обмотка индуктора состоит из двух секций (левой и правой), создающих поля, направленные к центру индуктора. Такие поля обуславливают создание во вторичном элементе соответствующих электромагнитных усилий ( $F_l$  и  $F_p$ ).

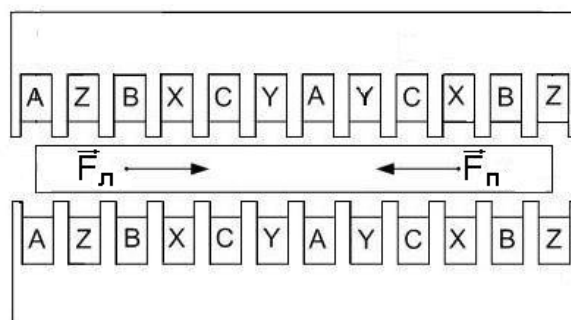


Рис. 1. Двухсторонний индуктор, создающий встречно бегущие магнитные поля

В показанной ЛИМ реализуется сразу несколько функций: возвратно-поступательное перемещение ВЭ при поочередном включении секций обмотки, движение ВЭ на пониженной скорости при питании секций обмотки разными токами и позиционирование ВЭ в центре индуктора. Все указанные операции могут быть востребованы при создании вспомогательного технологического оборудования для обслуживания робототехнических систем и гибких автоматических линий. В частности, авторами рассматривается возможность применения таких ЛИМ для установок индукционного

нагрева мерных заготовок в бегущем магнитном поле [2]. В традиционных установках индукционного нагрева периодического действия на основе индукторов с пульсирующим магнитным полем (ПП) перемещение заготовок производится толкателем, а позиционирование в зоне нагрева обеспечивается с помощью упоров. В установках индукционного нагрева в бегущем магнитном поле (БМП) ЛИМ берет на себя и функцию линейного двигателя, и функцию индукционного нагревателя. В случае ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями (ВБМП) к ним добавляется и функция позиционирования заготовки в зоне нагрева. Для оценки важности позиционирования заготовок в индукторе – нагревателе авторами выполнены расчеты процессов нагрева плоских алюминиевых заготовок. Результаты расчетов относительного перепада температур по длине заготовки ( $\delta\Theta$ ) от ошибки позиционирования ( $\Delta x$ ) показаны на рис. 2. Зависимости получены для трех вариантов нагрева: в пульсирующем (ПП), бегущем (БМП) и встречно бегущих (ВБМП) полях. Сплошными линиями показаны результаты через 30 с после начала нагрева, пунктирными – через 180 с.

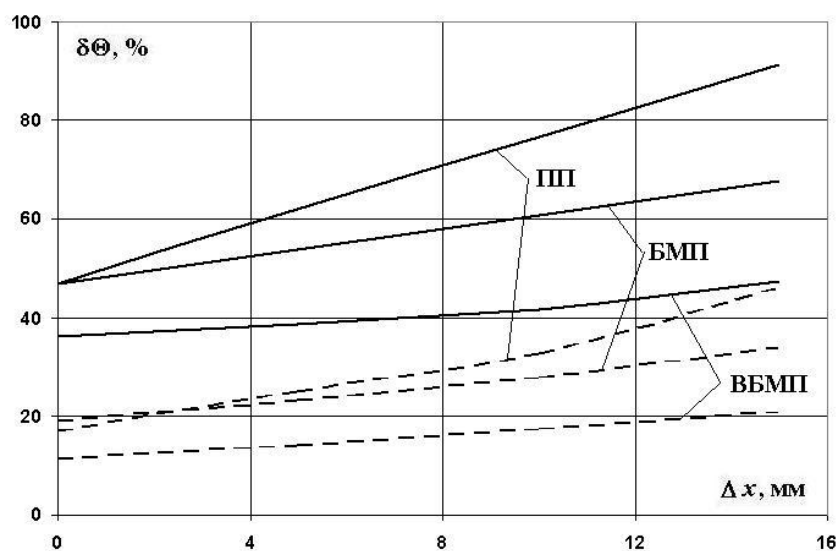


Рис. 2. Оценка влияния ошибки позиционирования на неравномерность нагрева заготовок

Из сравнения кривых на рис. 2 можно видеть, что минимальные неравномерности нагрева по длине заготовки наблюдаются в случае нагрева по варианту ВБМП, что отмечалось ранее в [2].

Во всех вариантах наблюдается повышение неравномерности нагрева заготовок при увеличении ошибки позиционирования. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на оценку эффективности позиционирования заготовок в ЛИМ с ВБМП. Эксперименты выполнялись на опытной установке с четырехполюсным индуктором, позволяющим легко изменять схемы обмоток, создающих встречно бегущие поля. Входящая в активную зону индуктора алюминиевая заготовка через несколько секунд останавливалась под действием встречно направленных электромагнитных сил и сил трения. После этого измерялось рассогласование осей индуктора и пластины (ошибка позиционирования). Для каждого из вариантов обмоток достигалось значение тока в ЛИМ, при котором ошибка позиционирования переставала изменяться. Результаты опытов приведены на рис. 3.

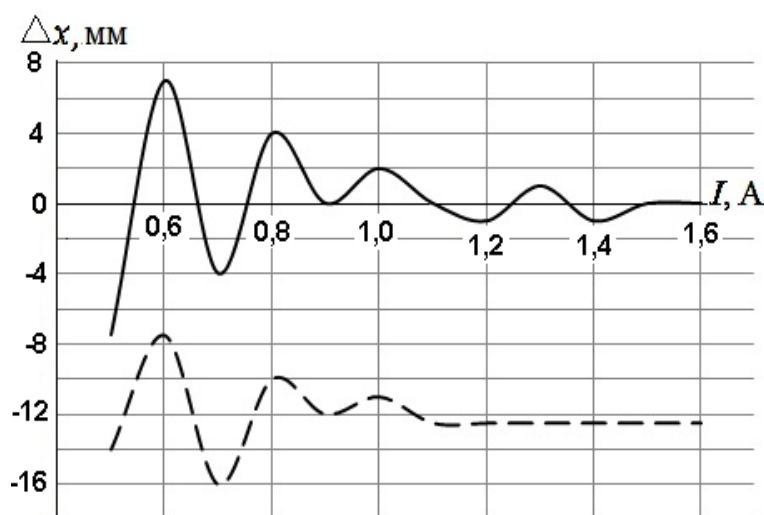


Рис. 3. Зависимости ошибки позиционирования заготовки от тока в индукторе

Кривая, показанная сплошной линией, соответствует схеме обмотки с симметричным расположением катушек левой и правой секций: AZBXCYCXBZA. Пунктиром показана кривая, полученная для одной из несимметричных схем: AZBXCYXBZAYC. Можно отметить, что в первом случае ошибка позиционирования  $\Delta x$  стремится к нулю, во втором – превышает 12 мм, что как показано ранее неблагоприятно для процесса индукционного нагрева.

Таким образом, исследования показали, что эффективность позиционирования заготовок в ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями зависит от схемы укладки катушек отдельных фаз обмотки. Наилучшие результаты обеспечивает схема, характеризующаяся зеркальной симметрией фаз относительно центра индуктора.

#### Список использованных источников

1. Линейные индукционные машины со встречно бегущими магнитными полями для энергоэффективных технологий / А. Ю. Коняев, Б. А. Сокунов, Ж. О. Абдуллаев, Е. Л. Швыдкий // Промышленная энергетика. 2017. № 4. С. 2–7.
2. Патент 182858, МКИ<sup>6</sup> H05B 6/36, Рос. Федерация. Устройство индукционного нагрева в бегущем магнитном поле / Ж. О. Абдуллаев, А. Ю. Коняев. № 2018117009; заявл. 07.05.2018; опубл. 05.09.2018. Бюл. № 25. 10 с.